

позволяет получить CaO с более развитой поверхностью. Так, у CaO, полученного при разложении Ca(OH)₂ в вакууме при 823 К в течение 1 ч, $S_{уд}=85$ м²/г, что в 3,5 раза выше, чем у образца, прокаленного в токе воздуха при аналогичных температуре и длительности обработки. При этом для образцов CaO, прокаленных в вакууме, $S_{уд}$ уменьшается с течением времени при их хранении на воздухе, причем основное изменение происходит в первые часы (5-6 ч) их контактирования с воздухом, последующее пребывание на воздухе оказывает существенно меньшее влияние на $S_{уд}$. Увеличение скорости нагрева, так же, как и выделяющийся при разложении водяной пар, оказывают отрицательное воздействие на дисперсность CaO.

Исследование условий, влияющих на реакционную способность соединений щелочноземельных металлов, позволит оптимизировать технологию секвестрации углекислого газа с использованием золы ТЭС.

Список использованных источников

1. Зола-унос тепловых электростанций. Нормативные характеристики. Стандарт отрасли ОСТ 34-70-542-2001. ВТИ. 2001 г.
2. Surface area and pore size changes during sintering of calcium oxide particles / A.B. Fuertes, D. Alvarez, F. Rubiera, J.J. Pis, G. Marbun, J.M. Palacios // Chemical Engineering Communications. V. 109. P. 73-88.
3. Borgwardt R.H. Sintering of nascent calcium oxide // Chemical Engineering Science. 1989. V.44(1). P. 53–60.
4. Бойнтон Р.С. Химия и технология извести. – М.: Стройиздат, 1972. – 240 с.
5. Surface area and pore size changes during sintering of calcium oxide particles / A.B. Fuertes, D. Alvarez, F. Rubiera, J.J. Pis, G. Marbun, J.M. Palacios // Chemical Engineering Communications. 1991. V. 109. P. 73-88.
6. Влияние на удельную поверхность оксида кальция условий термической обработки / А.С. Иванова, Б.Л. Мороз, Г.С. Литвак, Л.Г. Оккель // Неорганические материалы. Т. 34. №4. С. 432-435.

УДК 632.151

Я. М. Щелоков, В. Г. Лисиенко, Ю. Н. Чесноков, А. В. Лаптева

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ЭНЕРГО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ НДТ

Аннотация. Здесь изложен критерий выбора наилучших доступных технологий по минимуму значения сквозного технологического топливного экологического-парникового числа, который характеризует энергоёмкость и экологический ущерб производства технологического продукта. Экологический ущерб и эмиссия парниковых газов выражены в

энергетических единицах. Это дает возможность сопоставлять ранее определенную энергоёмкость продукции рассматриваемых производств с ущербом от выбросов вредных и парниковых газов.

Ключевые слова: наилучшие доступные технологии, энергоёмкость производства, экологический ущерб, эмиссия парниковых газов, энергетические единицы.

Abstract. Here the criterion for selection of the best available technologies for a minimum of value of through technological fuel ecological-greenhouse number which characterizes power consumption and ecological damage of production of a technological product is stated. The ecological damage and emission of greenhouse gases are expressed in power units. It gives the chance to compare earlier defined power consumption of products of the considered productions with damage from emissions of harmful and greenhouse gases.

Key words: best available technologies, energy intensity of production, environmental damage, greenhouse gas emission, energy units.

В качестве критерия выбора наилучших доступных технологий (НДТ) предлагается использовать наименьшее значение сквозного технологического топливного экологического-парникового числа (ТТЭПЧ), которое является итоговой оценкой энерго-экологических затрат при производстве продукции. ТТЭПЧ определяет сквозную энергоэкологическую и парниковую характеристику процесса. Чем меньше значение ТТЭПЧ у процесса, тем меньше его энергоёмкость и меньший ущерб он наносит окружающей среде, тем ближе анализируемый процесс к НДТ. Значение этого числа определяется по формуле

$$\text{ТТЭПЧ} = \text{ТТЧ}_\Sigma + \text{ТЭЧ} + \text{ТПЧ} = \Sigma(\Psi_i \cdot \text{ТТЧ}_i) + \text{ТАЧ} + \text{ТЭЧ} + \text{ТПЧ}, \quad (1)$$

где ТТЧ_Σ – суммарное технологическое топливное число (ТТЧ); Ψ_i – коэффициент расхода i -ого ресурса; ТТЧ_i – ТТЧ i -го ресурса; ТАЧ – технологическое амортизационное число; ТЭЧ – технологическое экологическое число; ТПЧ – технологическое парниковое число. Все эти числа имеют одинаковую размерность: кг у. т. / т продукции [1–9], что позволяет их складывать.

Для ископаемого топлива ТТЧ вычисляется по формуле

$$\text{ТТЧ} = 1,1 \cdot 10^3 \cdot \frac{Q_n^p}{Q_{н.у.т}^p}, \quad (2)$$

где 1,1 – коэффициент служит для учета энергозатрат на добычу, транспортировку и подготовку топлива; 10^3 – коэффициент предназначен для перевода размерности кг у. т. / кг прод. в кг у. т. / т прод; $Q_{н.у.т}^p$ – низшая рабочая теплота сгорания условного топлива; Q_n^p – низшая рабочая теплота сгорания ископаемого топлива. Для другой продукции ТТЧ определяется суммой ТТЧ_i ресурсов, потребных для изготовления этой продукции, с учетом их расхода (пример приведен в табл. 1). Значения сквозных ТТЧ_i приведены в [6].

Технологическое амортизационное число (ТАЧ) характеризует энергетические затраты на строительство и ремонт зданий сооружений и оборудования. Оно рассчитывается по формуле [7]:

$$\text{ТАЧ} = \frac{A}{C_{\text{пр.г.}}} \cdot \frac{Q_{н.пр.г}^p}{Q_{н.у.т}^p}, \quad (3)$$

где A – величина амортизационных отчислений в денежном эквиваленте; $C_{\text{пр.г.}}$ – цена природного газа; $Q_{\text{н.пр.г.}}^{\text{p}}$ – низшая рабочая теплота сгорания природного газа.

Таблица 1

ТТЧ доменного чугуна

Сырьевые ресурсы и основные показатели	ТТЧ _i , кг у. т./т	Расход на 1 т продукции
Кокс, т	1 396,0	0,40
Природный газ, м ³	1,34	134,0
Вода, м ³	0,120	36,0
Дутье (подогрев), м ³	0,104	1400,0
Кислород, м ³	0,240	100,00
Электроэнергия, кВт ч	0,390	22,0
Агломерат офлюсованный, т	111,00	1,0
Окатыши офлюсованные, т	123,0	0,60
Известь, т	283,0	0,07
ТАЧ, кг у. т.	–	55,30
Доменный газ, м ³	0,117	–2 000
Значение ТТЧ чугуна, кг у. т.		946

Технологическое экологическое число (ТЭЧ) характеризует затраты природопользователя в энергетическом измерении и определяется как:

$$\text{ТЭЧ} = m_{\text{п}} \cdot K_{\text{вэ}}, \quad (4)$$

где $m_{\text{п}}$ – удельная приведенная масса вредных выбросов; $K_{\text{вэ}}$ – условный показатель, характеризующий степень компенсации экологического ущерба. Величина $m_{\text{п}}$ определяется формулой:

$$m_{\text{п}} = \sum_k (M_k \cdot A_k), \quad (5)$$

где M_k – фактическая удельная масса вредных выбросов k -го загрязняющего вещества для i -го передела; A_k – коэффициент агрессивности k -го загрязняющего вещества. Коэффициент перевода $K_{\text{вэ}}$ вычисляется как

$$K_{\text{вэ}} = \frac{C_{\text{в.в.}}}{C_{\text{п.г.}}} \cdot \frac{Q_{\text{н.п.г.}}^{\text{p}}}{Q_{\text{н.у.т.}}^{\text{p}}}, \quad (6)$$

где $C_{\text{вв}}$ – плата природопользователя за сверхлимитное загрязнение окружающей среды.

Технологическое парниковое число (ТПЧ) характеризует затраты природопользователя в энергетическом измерении и определяется как

$$\text{ТПЧ}_{\text{пi}} = K_{\text{вп}} \cdot \sum_{k=1}^N M_k^{n.z.}, \quad (7)$$

где $K_{\text{вп}}$ – коэффициент перевода стоимостной оценки ущерба к оценке в условных энергетических единицах; $M_k^{\text{п.г.}}$ – фактическая удельная масса

выбросов парниковых газов; N – количество учитываемых парниковых газов. Величина $K_{\text{вп}} = K_{\text{вэ}}$. Коэффициент $K_{\text{вп}}$ представляется в виде:

$$K_{\text{вп}} = \frac{C_{\text{п.г.}}}{C_{\text{пр.г.}}} \cdot \frac{Q_{\text{н.пр.г.}}^{\text{р}}}{Q_{\text{н.у.т.}}^{\text{р}}}, \quad (8)$$

где $C_{\text{п.г.}}$ – учитывает плату за эмиссию парниковых газов природопользователя за загрязнение окружающей среды выбросами в атмосферу парниковых газов [8].

Заключение. Предложен критерий выбора наилучших доступных технологий по сквозным результирующим энергетическим и экологическим параметрам. Под экологическими параметрами подразумеваются эмиссии в атмосферу вредных веществ и парниковых газов.

Список использованных источников

1. Лисиенко В.Г. Топливо. Рациональное сжигание, управление и технологическое использование: справочное издание: в 3-х книгах. Кн. 1 / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев; под ред. В.Г. Лисиенко. – М.: Теплотехник, 2004. – 608 с.
2. Лисиенко В.Г. Плавильные агрегаты. Теплотехника, управление и экология: справочное пособие: в 4-х книгах. Кн. 2 / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев; под ред. В.Г. Лисиенко. – М.: Теплотехника, 2005. – 912 с.
3. Лисиенко В. Г. Хрестоматия энергосбережения: справочное издание: в 2-х книгах. Кн. 1 / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев; под ред. В.Г. Лисиенко. – М.: Теплотехник, 2002. – 688 с.
4. Лисиенко В.Г. Энергетический анализ. Методика и базовое информационное обеспечение: учеб. пособие для вузов / В.Г. Лисиенко [и др.]; под ред. В.Г. Лисиенко. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2001. – 100 с.
5. Лисиенко В.Г. Энергоэкологический анализ, программное обеспечение и снижение эколого-экономического ущерба: учеб. пособие для вузов / В.Г. Лисиенко, О.Г. Дружинина, Б.Б. Зобнин [и др.]; под ред. В.А. Морозовой. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2005. – 310 с.
6. Лисиенко В.Г. Альтернативная металлургия: проблема легирования, модельные оценки эффективности: монография / В.Г. Лисиенко, Н.В. Соловьева, О.Г. Трофимова; под ред. В.Г. Лисиенко. – М.: Теплотехник, 2007. – 440 с.
7. Чесноков Ю.Н. Математические модели косвенных оценок эмиссии CO₂ в некоторых металлургических процессах / Ю.Н. Чесноков, В.Г. Лисиенко, А.В. Лаптева // Сталь. 2011. № 8. С. 74–77.
8. Лисиенко В.Г. Сравнительный эколого-парниковый анализ альтернативных бескоксовых процессов производства чугуна и стали / В.Г. Лисиенко, Ю.Н. Чесноков, А.В. Лаптева // Металлург. 2011. № 7. С. 40–45.
9. Щелоков В.Г. Технологии обеспечения энергоэкологической эффективности черной металлургии / В.Г. Щелоков, В.Г. Лисиенко, Ю.Н. Чесноков, А.В. Лаптева // доклад на Международном симпозиуме

«Инженерная экология – 2015», (совместно со школой - семинаром молодых ученых). – Москва, 2015. – С. 125 – 127.

УДК 669.181.24

М. С. Ялунин, М. О. Золотых, А. Н. Дмитриев, Р. В. Алекторов,

Г.Ю. Витькина

ФГБУН «Институт металлургии Уральского отделения

Российской академии наук», г. Екатеринбург, Россия

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА MIDREX (НА ПРИМЕРЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТИТАНОМАГНЕТИТОВЫХ РУД)

Аннотация. *Оценены современное состояние и перспективы развития технологий прямого получения железа. Приведены теоретические аспекты процессов прямого восстановления железа. Разработаны алгоритмическое и программное обеспечение балансовой математической модели процесса металлизации в шахтной печи по технологии Midrex с учетом присутствия титана и ванадия в рудах. Проверена адекватность модели контрольным расчетом и проведена адаптация модели для титаномагнетитовых руд Качканарской группы месторождений.*

Ключевые слова: *титаномагнетит, окатыши, прямое получение железа, шахтная печь, Мидрекс, математическое моделирование.*

Abstract. *The current state and prospects for the development of direct iron production technologies are evaluated. The theoretical aspects of the processes of direct reduction of iron are presented. Algorithm and software for a balance mathematical model of the metallization process in a shaft furnace using the Midrex technology, taking into account the presence of titanium and vanadium in the ores, have been developed. The adequacy of the model was checked by the control calculation and the model was adapted for the titanomagnetite ores of the Kachkanarsky group of deposits.*

Key words: *titanomagnetite, pellets, direct production of iron, furnace, Midrex, mathematical modelling.*

Анализ современного состояния бескоксовой металлургии в мире, тенденций и перспектив ее развития показывает, что возможно дальнейшее увеличение производства металлизированного сырья, особенно в регионах, обладающих ресурсами дешевых энергоносителей. Основная часть (более 70 %) металлизированного продукта в мире производится по технологии Midrex (Мидрекс).

Шахтная печь в процессе Midrex работает по принципу противотока. Обожжённые окатыши поступают в печь сверху и опускаются вниз под действием силы собственной тяжести по мере того, как в нижней части печи они выгружаются в виде металлизированного продукта. Одновременно горячий восстановительный газ, вдуваемый через фурмы, движется навстречу потоку окатышей вверх.

В настоящее время и на перспективу на Урале основной рудной базой черной металлургии России будет титаносодержащее сырье, имеющее в своем